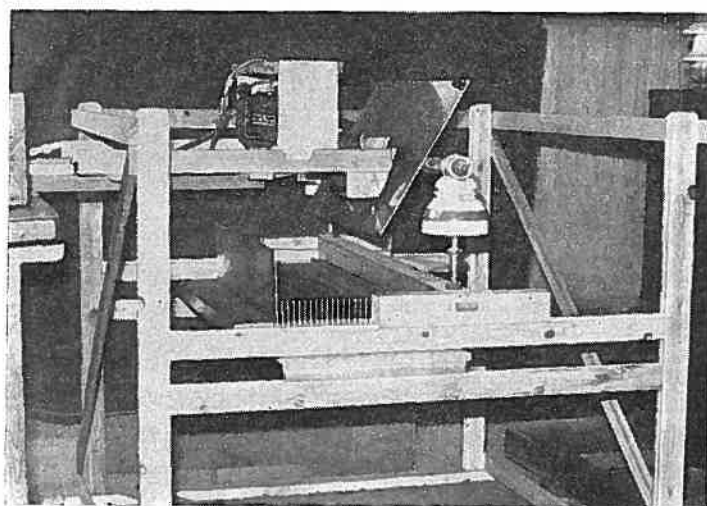
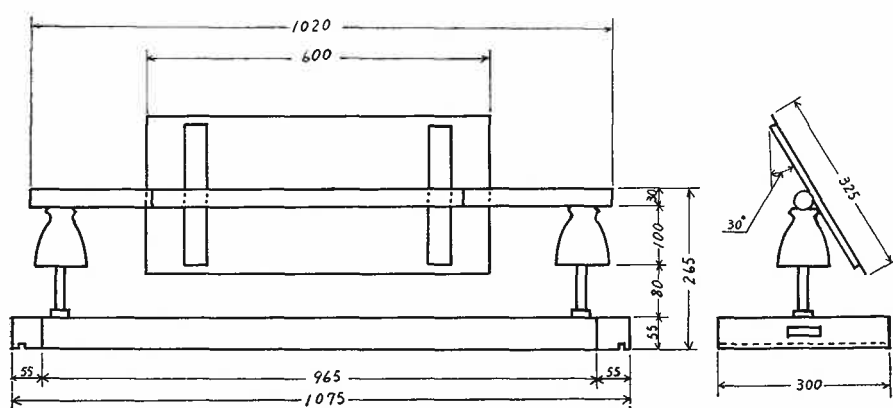


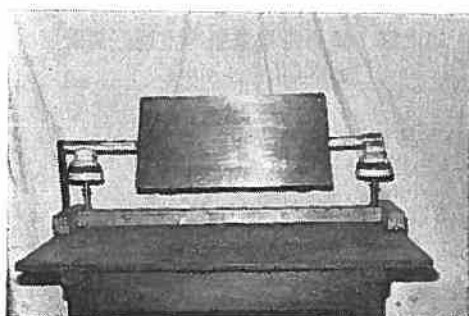
######



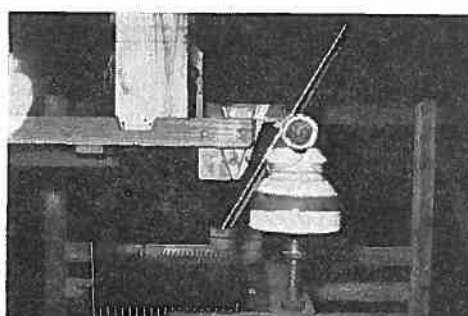
第3図 傾斜帯電電極選鉤装置



第4図 傾斜帯電電極（単位：mm）



第5.a図 傾斜帯電電極



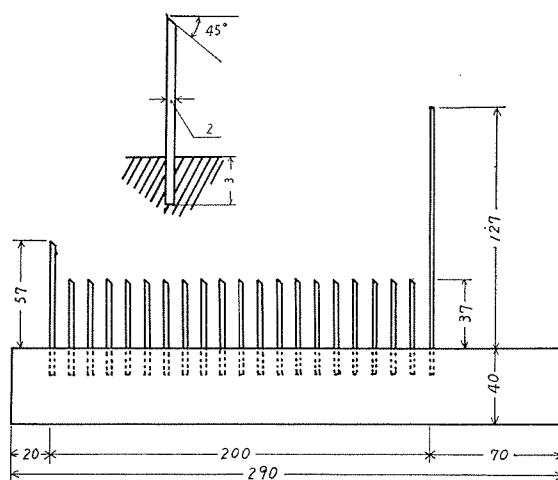
第5.b図 傾斜帯電電極

して角度 60° について測定を行った。

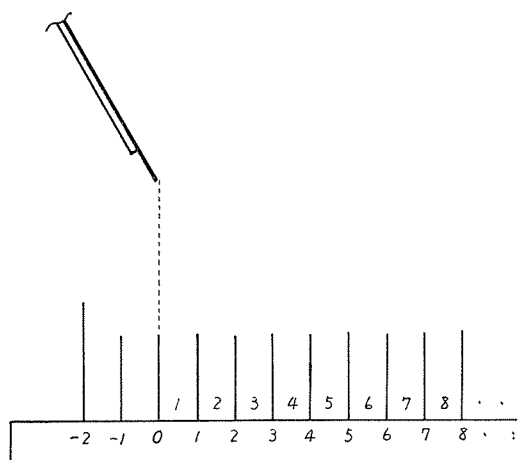
上下移動と前後移動は次節以下において述べる実験に際し必要なことがあるので、上下移動は第1図の電極板の周囲の4本の柱を利用して、電極板を支持する台を 1 cm おきに上下できるようにした。前後方向の移動は電極板の支持台底部の“みぞ”を、第1図のA上のレールをすべらせることにより、適当な距離だけ動かせるようにした。

(c) 試料受台

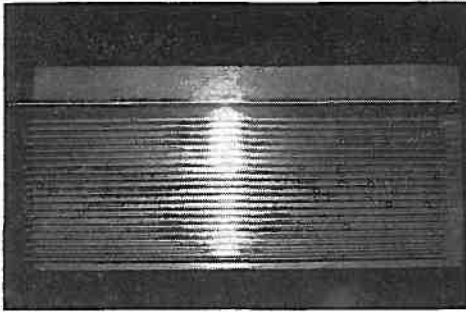
試料受台は第6, 7, 8a, b図に示したものを使用した。アルミ板の厚さは 2 mm なので、



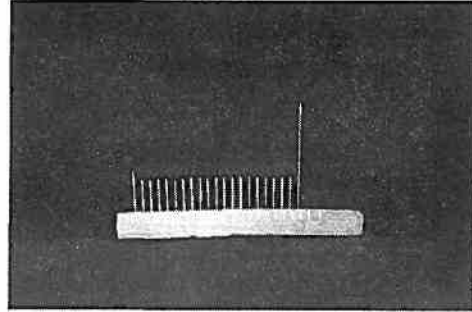
第6図 試料受台 (単位: mm)



第7図 試料受台の番号 (単位: mm)



第8.a図 試料受台



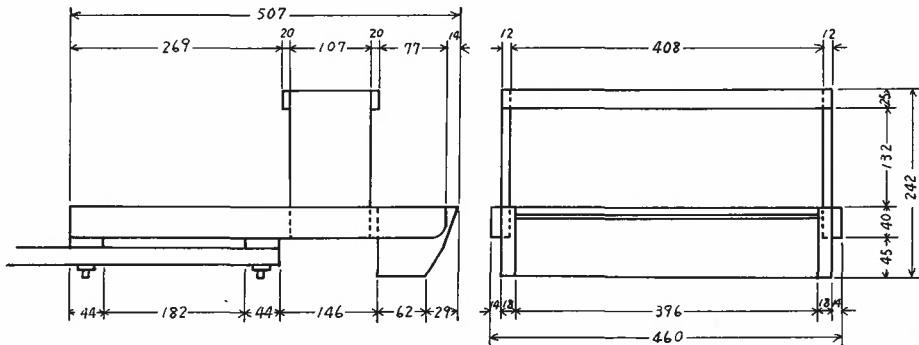
第8.b図 試料受台

粉体の衝突の影響をさけるため、上端をナイフエッジ状にした。

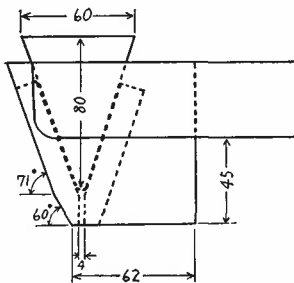
第7図に示したように帯電電極下端直下の試料受台のアルミ板の位置を0（原点）と仮定し、図の右方（粉体の飛散する方向）を正方向にとり、左方を負方向として番号をつけた。各アルミ板の間を“みぞ”と呼ぶこととするが、“みぞ”の番号はアルミ板0と1の間を1，アルミ板2と3の間を2という順に番号をつけることとし，“みぞ”の番号を用いて結果をあらわすこととした。

(d) ホッパー

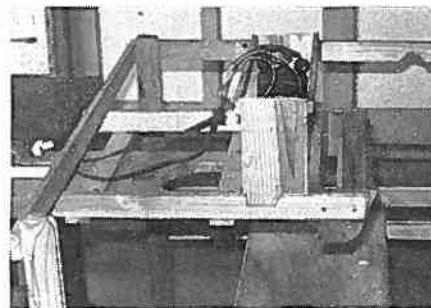
ホッパーは第9,10,11図に示すものを使用した。粉体の落ち口に網をはり、粉体が落



第9図 ホッパー全体図（単位：mm）



第10図 ホッパー（粉体が入る部分）（単位：mm）



第11図 ホッパー

下するとき、この網目を通ることにより粒子がよく分散されて、個々の粒子が帯電した電極に衝突して十分な静電気力を受けるようにした。落ち口を狭くしたほうが電極板に衝突する部分が狭くなって分離度が良好となるが、あまり狭くすると粉体の流出時間が大となり効率が低下するので図に示した程度として実験を行った。

ホッパーには電磁振動機を取り付けた。ホッパーと電極板の距離は、上下方向、前後方向ともに自由に变化できるようにしてある。試料重量は 25[g] を標準としたが、約 3 分で全量が落下するように電磁振動機の電圧を加減した。

(e) 実験方法

試料には、良導体として炭素を、絶縁体として石英を砕いたものを使用した。一定量の試料をホッパーに入れ、約 8~10 [g/min] で全量が落下するようにホッパーの電磁振動機を調整しておく。ついで電極板に所定の高電圧を印加した後、ホッパーの電磁振動機のスイッチを入れ振動を与えて試料を電極板上に落下させる。

帯電電極に接触した粉体は、良導体であれば印加電圧と同極性の電荷を帯び、印加電圧との間のクーロン力によって電気力線にそって遠くへはね飛ばされる。印加電圧の大小ならびに次節以下で述べる諸条件によって、このはね飛ばされる距離が異なってくるので、電極板の下においた試料受台の 1 cm ごとに区切られた“みぞ”に捕集された試料の重量を測り、横軸に“みぞ”の番号を、縦軸にその粉体の重量をとったグラフをえがき、その曲線の傾向から各種分離条件の検討を行った。

一方、粉体が絶縁性のものであれば、帯電電極に接触しても電荷を帯びないため、印加電圧との間にクーロン力は働かず、したがって遠方へはね飛ばされることもなく、無電圧の場合とほとんど変わらないこととなるが、これについても一応実験を行った。

3. 粉体の運動に影響を与える因子

前節で述べた実験装置を用いて粉体の運動を調べるにあたり考慮すべき因子としては、

- (a) 粉体の落下に要する時間。
- (b) 電極板と受台への粉体の付着。
- (c) 周囲の温度と湿度。
- (d) 周囲の気流。
- (e) 粉体の粒度。(f)電極板の傾斜角度。
- (g) 電極板の最下端と試料受台との距離。
- (h) ホッパーの網と電極板との距離。
- (i) 印加電圧の極性。
- (j) 印加電圧の大小。
- (k) 粉体が落下する電極板上の位置。

のように多数が考えられ、同時にこれらの因子は相互に関連している場合も多く簡単に結論づけることはむずかしいが、なるべく条件を単純化して静電選鉱の基礎となる条件を得られるように考慮した。次節以下で、これらの因子について実験と考察とを述べる。

4. 粉体の落下に要する時間

ホッパーに装着した電磁振動機の印加電圧を大にして強く振動させれば、ホッパー内の粉体は早く落下するが、落下する時間が早すぎると、上方から落下してくる粉体と、電極板に接触してはね飛ばされる粉体との衝突が起こり、分離度が低下することもある。一方、振動を弱くして粉体の落下速度、したがって落下量を少とすれば処理に要する時間が大となり、選別効率が低下するおそれもある。そこで大略の目安として $8 \sim 10 [g]$ の粉体が、 $4 \text{ mm} \times 250 \text{ mm}$ の断面積の落ち口から1分間で落下する程度とした^{(1)~(3)}。

5. 電極板と受台への粉体の付着

試料として用いる粉体はふるい分けにより整粒したが、それでもなお細かい粒子がまじっていて、この微粉が電極板や受台へ付着する。これをそのまま放置すると、測定誤差の原因となるので、一回実験を行うごとに、電極板をアルコールでふきとり、また、受台は“はけ”を用いて、丁寧に粉末を取り除いて次回の実験を行うようにした。

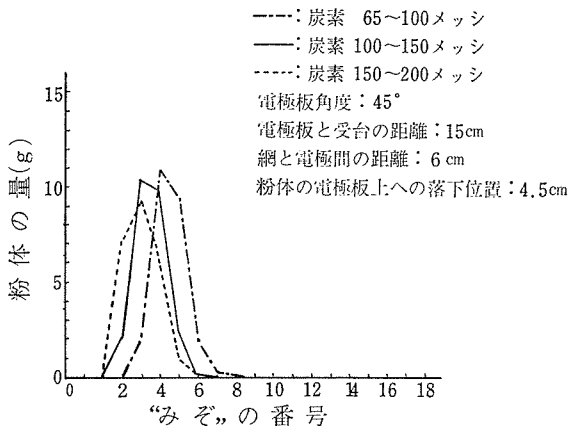
6. 周囲の温度と湿度

粉体を取り扱うときは、周囲の温度と湿度がなんらかの影響をおよぼすことは周知の事実である。しかし現実に静電選鉱装置を働かせる場合は、自然の状態においてであるから、特別の場合以外は周囲の温度と湿度の影響を考慮しないこととした。

7. 周囲の気流

試料として用いた粉体はいずれも微小粒子なので、周囲の気流の影響をうけて移動しやすく測定誤差の原因となる。いうまでもなく実作業上も選別結果に悪影響をおよぼすものと考えられるので、周囲から風がふきこまないように注意して実験を行った。

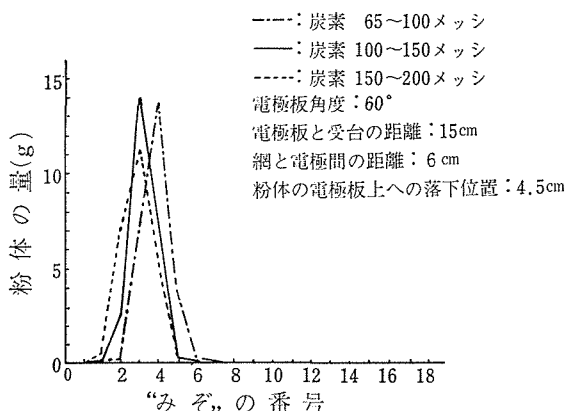
8. 粉体の粒度



第12図 粉体の大きさによる影響

上方から落下してくる粉体が傾斜電極に衝突すると、粒子の粒が大きい場合には、その電気的性質によってうける静電気力よりも衝突の際の反撥力の方が強く、粉体の電気的性質に関係なく一様な力ではね飛ばされることとなり、静電分離が困難になる。

電圧を印加しないで電極板の傾斜角度を 45° とした場合、粉体の大きさが 65~100 メッシ、100~150 メッシ、150~200 メッシのものはね飛ばされた状



第13図 粉体の大きさによる影響

に適する分離方法は、すでに発表した⁽¹⁾。また 200 メッシュ以下の微小な粉体になると一般に静電選鉱法は困難といわれている。この微小な粉体の静電選鉱法も、すでに報告したとおりである⁽⁶⁾が、このような微小なものの場合には、あまり選別効果はあがらない。したがってこの傾斜帯電電極選鉱装置に使用する粉体鉱石の大きさは、100～150 メッシュまたは 150～200 メッシュのものが最適であるが、65～100 メッシュの粒度のものについても使用が可能である。

9. 電極の傾斜角度

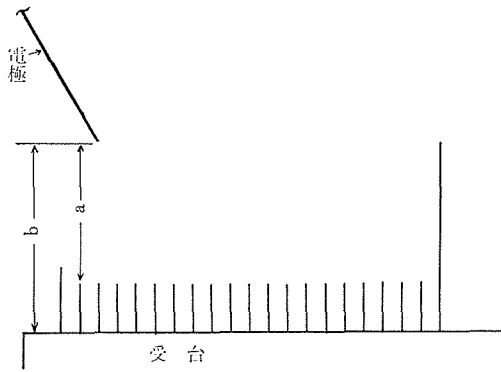
第12図 と 第13図 を比較してみると、試料受台に落ちた粉体は 第13図 すなわち電極板の傾斜角を 60度 にしたときの方が集中度がよくなっている。電極板に電圧を印加しないときに、粉体が電極板にあたって受台に落下する範囲が広くないことは、電圧を印加して静電選鉱を行う場合に、絶縁性物質が狭い部分に集中することとなり、導電性物質との選別が容易になる。したがって電極板の角度は急にする方がよいこととなるが、あまり急な角度とすると粉体がホッパーから落下して電極板にあたるときに、電極板上の幅広い部分に衝突し、導電性粉体の飛散する距離にばらつきが生じてくる。また極端に角度が急な場合は電極板にあたらないで落下する粉体も生じるので、100～150 メッシュ、150～200 メッシュの粉体では傾斜角 60度 付近が最適と考えられる。したがって以下の実験では電極板の傾斜角度はもっぱら 60度 として行うこととした。

なお、傾斜角度を 30度 程度にすると 100～150 メッシュ程度の粉末では、電極板上に積るものが増え、また受台へ落ちたものの分離状態も不良となる。

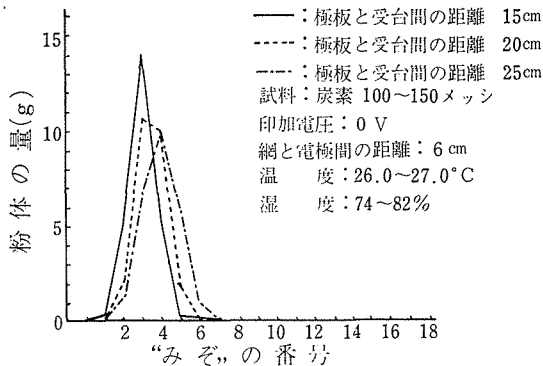
10. 電極板の最下端と試料受台間との距離

第14図 に示した α の距離を変化させることにより、粉体が電極板に衝突した後、どのような分布をするかを調べた結果が 第15図 である（電圧は印加していない）。この距離を小にすれば電極板にそって飛ぶ粉体が受台に斜めに衝突することとなり測定値に誤差を

態を 第12図 に示した。同じ条件で電極板の傾斜角を 60度 にしたときの状態を 第13図 に示した。いずれも試料は炭素で、25 [g]である。いずれも 65～100 メッシュのものは 1cm 右へずれていて、遠くへ飛んでいることがわかる。65 メッシュ以下の比較的大きな粉体では、前述の衝突による反撥力が強く、65～100 メッシュの粒子よりさらに遠くへ飛ぶこととなり、傾斜帯電電極選鉱装置には不向きな粒度である。この程度の粒度の粉体



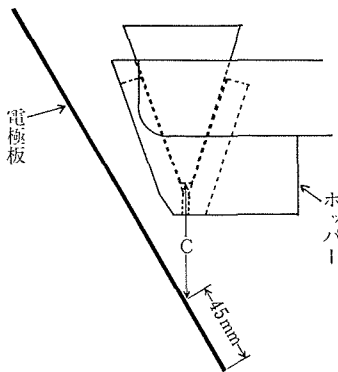
第14図 電極板と受台の距離



第15図 極板と受台間の距離による影響

生じるおそれがある。一方、あまり大とすれば周囲の気流の影響を受けて分布が、ばらつくこともあり、また実際面では装置の寸法が大きくなりすぎるきらいがある。そこでこの距離は、粉体が電極板にそって飛んだ後、自重によってまっすぐ落下する程度にすればよいと考えられる。第15図をみると6または7の“みぞ”まで、すなわち電圧を印加しないときの粉体は電極下端の直下から6~7 cmまでしか飛んでいない。この場合電極板の傾斜角度は60度にしてあるから、問題にしている距離 a は、ほぼ10~12 cmあればよいことになる。一方、実験の便宜さからいえば、装置の調整に便利なのは第14図の a より b であるので、以下の実験では b を15 cmとして行うこととした。

11. ホッパーの網と電極板との距離

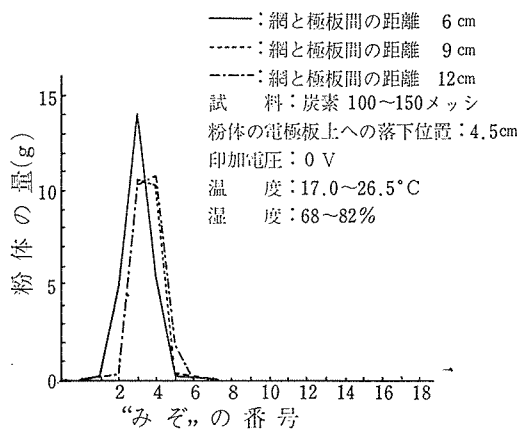


第16図 ホッパーと電極板との距離

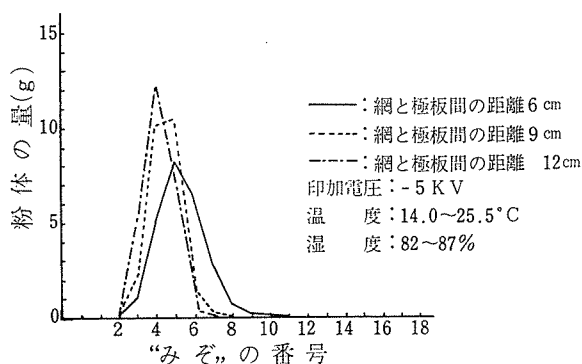
著者の用いた静電選鉱装置はホッパーと電極板の距離が変更できるようになっている。この距離を小さくしすぎると電極板からホッパーに放電するおそれもあるので、あまり近づけることもできない。一方、この距離を大にすると落下する粉体が広がり、電極板に幅広く衝突するため分離度が低下するおそれがある。

ホッパーの網と電極板との距離のあらわし方は、第16図に示した C のようにとった。いいかえると、これは粉体がホッパーの網を通りすぎてから電極板に衝突するまでに動いた空間の長さである。

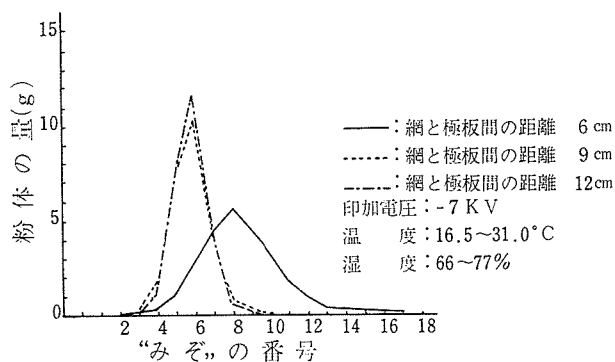
この距離を変化して粉体の分布状況の測定を行った結果を 第17 a, b, c, d, e, f, g 図に示した。第17 a図 は電圧を印加しない場合であり， 他はそれぞれ-5， -7， -9，



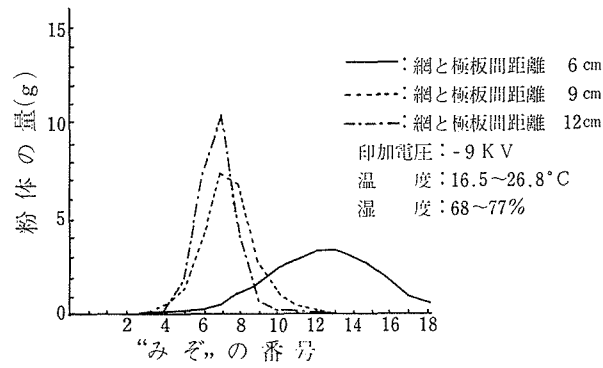
第17 a 図



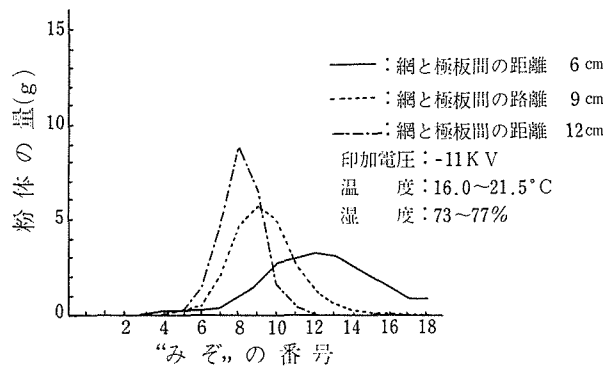
第17 b 図



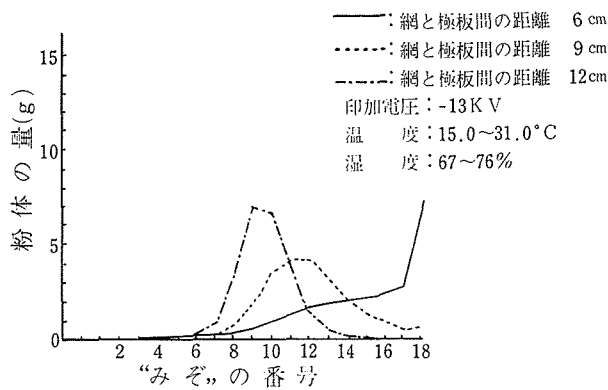
第17 c 図



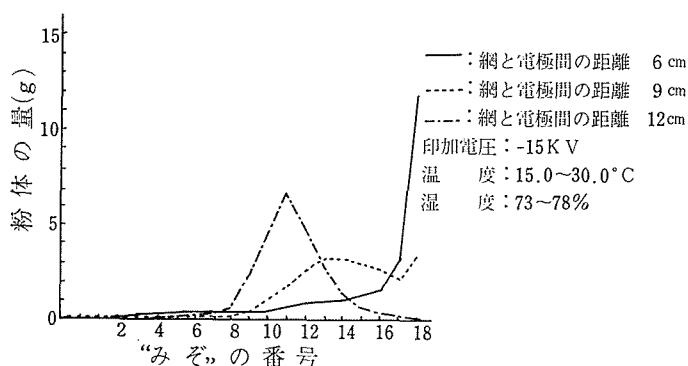
第17 d 図



第17 e 図



第17 f 図



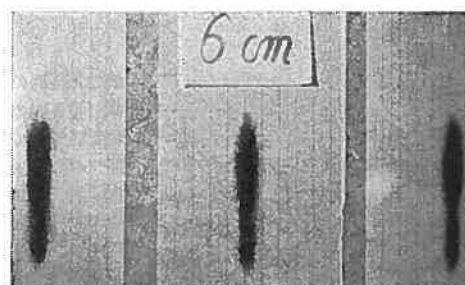
第17 g 図

-11, -13, -15KV を印加した場合である。これらの結果から、電圧が印加されていない場合は距離の小さい方が粉体の集中度がよくなっており、また電圧が印加されると、距離の小さい程、同一電圧でも遠方へはね飛ばされていて、同じ分離効果をあげるのに低い電圧ですむという利点があるので、危険のない程度までこの距離を小にすればよいこととなる。そこで著者の装置ではホッパーの網と電極板の距離を大体 6 cm 程度とすることとした。

次に粉体の落下するときの幅について調べた結果を示す。第16図において電極板を取り除き、ホッパーの網の直下の 6 cm, 9 cm, 12 cm, の場所にガラス板を水平に置き、瞬間的にホッパーを動かして少量の粉体を落下させ、ガラス板上に落ちた粉体の幅を調べた結果が第 18 a. b. c 図の写真である。この写真にみえる線の間隔は 1 cm である。3回落下させて、粉体の落下幅の平均値を求めると第1表のようになる。

第 1 表

ホッパーの網と電極板の距離	最 小 幅	最 大 幅
6 cm	1.4 cm	2.57 cm
9	1.5	2.9
12	1.37	3.47



a 図
網と電極板の距離
: 6 cm



b 図
網と電極板の距離
: 9 cm



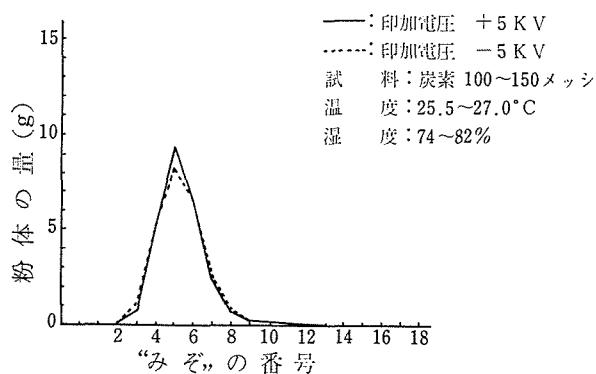
c 図
網と電極板の距離
: 12 cm

第18図 電極板の代りに水平な板をおき、粉体を落したときの幅

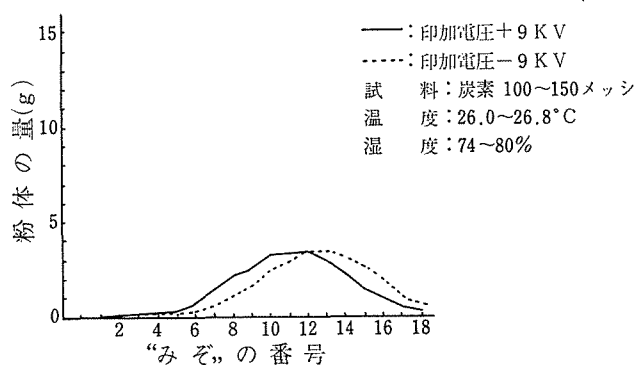
この結果からみてもやはりホッパーの網と電極板の距離は小さい方がよいといえる。なお実際には電極板が 60度 の傾斜角をもっているので電極板上ではこの2倍の幅を持つことになる。

12. 印加電圧の極性

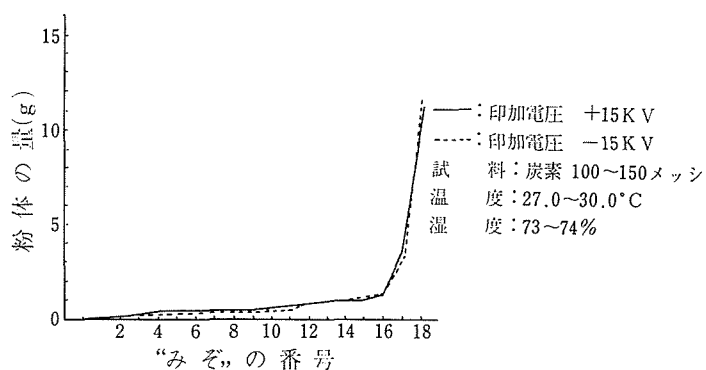
電極板に印加する電圧の極性を正または負としたとき、粉体の飛散する状態に差があるかどうかを調べた一例を 第19 a, b, c図 に示した。この図は試料として炭素の 100～



第19.a図 印加電圧の極性による影響



第19.b図 印加電圧の極性による影響



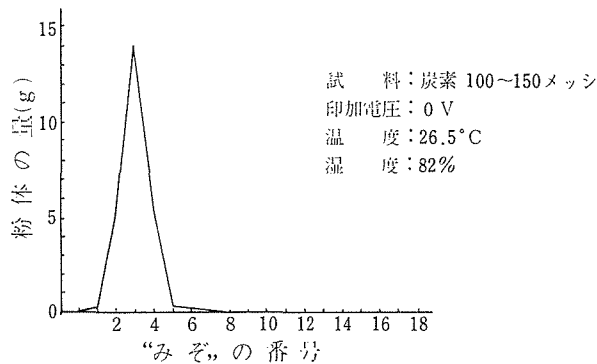
第19.c図 印加電圧の極性による影響

150 メッシの粉体を使用し、印加電圧を正、負の 5KV, 9KV, 15KV としたときの測定結果であるが、これをみると正極性と負極性の間には大差はないが負極性の方がややよいように観察される。

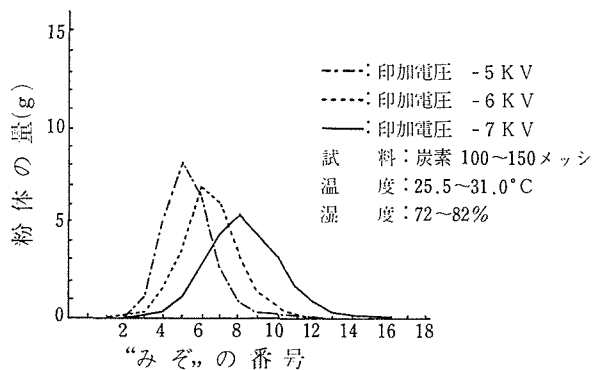
一方、高電圧を発生する点から考えると負極性の方が製作に便利であること、負極性の場合にはコロナが進展しにくいなどの利点もあるので著者等の行う静電選鉱法では印加電圧としてもっぱら負極性のものを使用することとした。

13. 印加電圧の大小

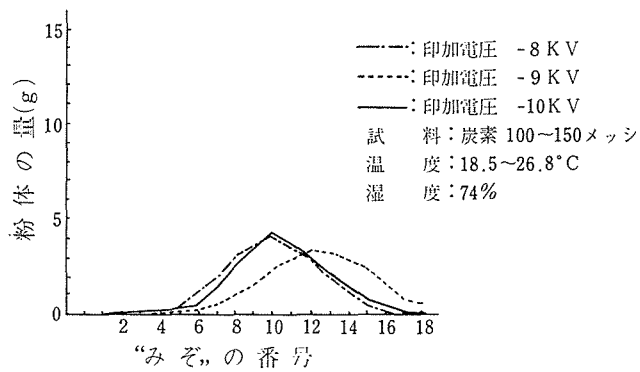
粉体が電極板に触れたときに生ずる静電気力、したがってはね飛ばされる距離は、電極板に印加されている高電圧の大小によって違うのは当然である。そこで印加電圧を -5KV から -16KV まで変化したときの粉体の飛散状態を調べた結果を 第20 a, b, c, d, e



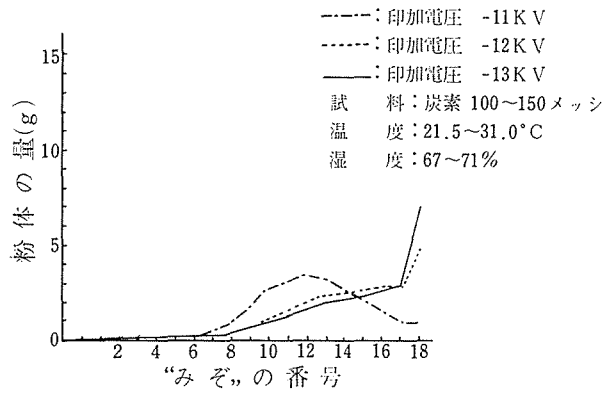
第20.a図 印加電圧の大小による影響



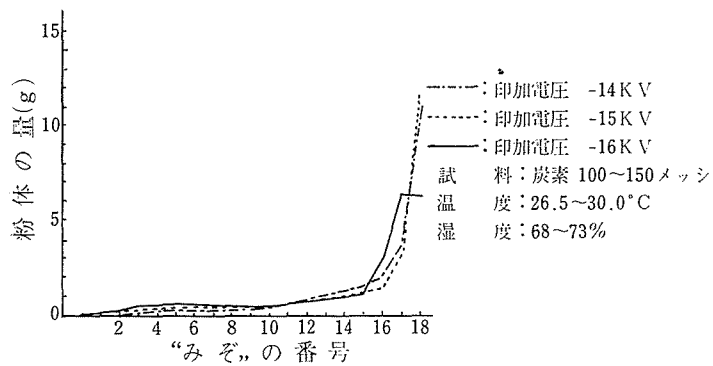
第20.b図 印加電圧の大小による影響



第20.c図 印加電圧の大小による影響



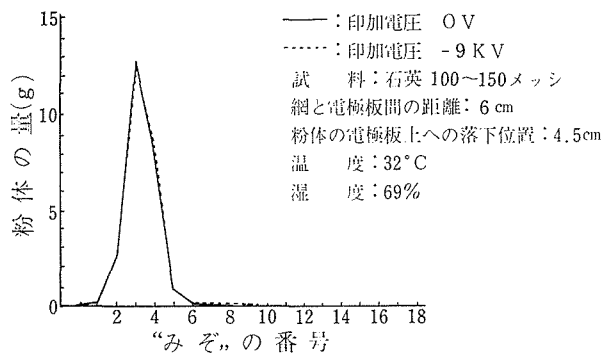
第20.d図 印加電圧の大小による影響



第20.e図 印加電圧の大小による影響

図に示した。 $-11KV$ より高い印加電圧のとき，“みぞ” 番号の大きい方の分量がふえているのは，18番 目のところに高い止板をおいて，それより遠い地点に粉体が飛行しないようにしたためである。

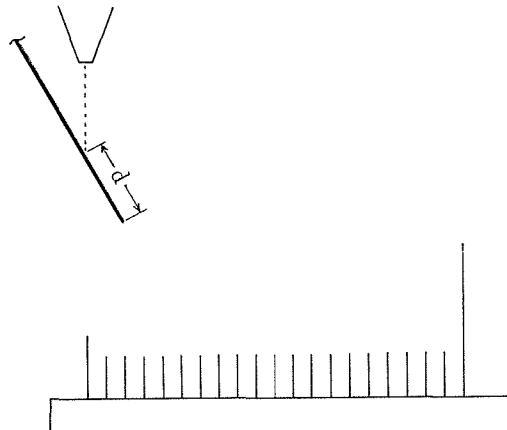
前節まで述べた諸条件と次節の条件によって，ある程度の差はあるが，印加電圧の高い程，粉体のはね飛ばされる距離は大きくなる。しかし一方粉体の飛散する分布状況も幅広くなってくる。これは試料として用いた粉体があるサイズ範囲に整粒されてはいても，均一なサイズの粒子群ではなくある程度の粒度範囲を持っているため，粒子の大きさによって受ける静電気力に差が生じるためと考えられる。なお 第21図 に絶縁物試料として石英を用いたときの飛散状態を印加電圧を $-9KV$ としたときと，電圧を印加しない場合について示したが，電圧を印加したための影響はほとんど認められなかった。



第21図 絶縁物の飛散状況

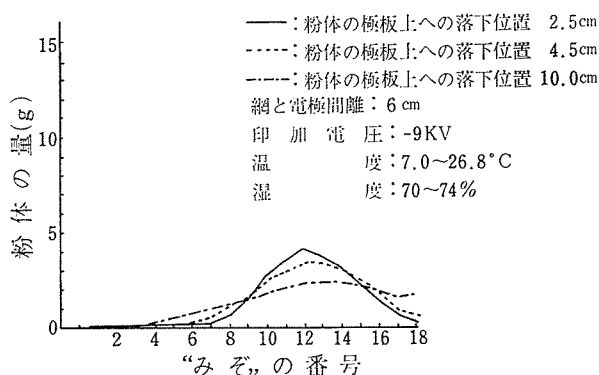
14. 粉体の電極板上への落下位置

ホッパーから落下してくる粉体が電極板に衝突する位置によっても粉体の飛散状態は異なってくる。電極板上の位置を 第22図 に示したように，電極板の下端からの距離 d で



第22図 粉体の電極板上への落下位置

表わすこととする。この距離を 2.5 cm, 4.5 cm, 10 cm としたときの結果の一例を第23図に示した。2.5 cm というのは 第11節 で述べた粉体が落下するときの幅を考えれ



第23図 粉体の極板上への落下位置による影響

ば最下端と考えてもよいだろう。この結果からみると、粉体の電極板に衝突する位置が、最下端からあまり短くても、またあまり長くても集中度がよくないことが判明した。これは距離が短いときは、電極板に衝突しないで落下するものもあるし、電気力線の関係で受台の負の方に巻きこまれるように引かれるものも生じるためであろう。距離の長いときに粉体の分離状態が悪いのは、静電気力によりはね飛ばされても、その飛行距離がちょうど電極板の最下端付近まででなければ結果的には分離されないことと同様になる場合もあるからであろう。

以上の事を考慮して粉体の電極板上への落下位置は電極板の最下端から 4.5 cm 位が最適と考えられる。

15. むすび

本論文においては、著者の一人が開発した静電選鉱装置の基礎となる傾斜帯電電極に接触した粉体の運動が、各種の条件によりどのように変化するかについての考究を試みた。

その結果このような静電選鉱装置としては

(1) 粉体がホッパー ($4 \times 250\text{mm}^2$) から落下するに要する時間は 8~10 [g/min] が最適である。

(2) 使用する粉体の大きさは 100~150, 150~200 メッシュのものが最も適している。

(3) 電極板の傾斜角度は 60度 位がよい。

(4) 電極板の最下端と試料受台の距離は 15 cm 程度が最もよい。

(5) ホッパーの網と電極板との距離は 6 cm 程度とするのがよい。

(6) 印加電圧の極性は負の方が良い結果をうる。

(7) 印加電圧の大きさは炭素のような良導体では 10 KV 程度がよい。

(8) 粉体の電極板上への落下位置は、電極板の最下端より 4.5 cm 付近が最も適している。

ことが判明した。

以上の結果は静電選鉱装置設計の一助とすることができるものと考えられる。

文 献

- (1) 高田 実, 小林惟康, 庄田新一: 静電処理に関する研究, 山大紀要（工学）, **2**, 1, (昭和27-10)
- (2) 高田 実, 小林惟康, 庄田新一: 静電処理に関する研究, 山大紀要（工学）, **2**, 2, (昭和28-12)
- (3) 高田 実, 小林惟康, 庄田新一: 静電処理に関する研究, 山大紀要（工学）, **3**, 1 (昭和29-5)
- (4) 庄田新一: 静電分離に関する研究 V, 粉体の見かけ固有抵抗について, 山大紀要（工学）, **10**, 1, 93 (昭和43-1)
- (5) 高田 実, 庄田新一: 帯電粉末の分離に関する研究, 第2回静電気研究発表会, (31-6)

The Investigation of Electrostatic Separation IV On the Particle Motion Electrified by the Inclined- Plane-Electrode Apparatus

Shin-ichi SHODA and Takao FUKASE

Department of electrical engineering, Technical Junior College.

This report is on some experimental results as to how particle moves when it touches the high voltage electrode. This experiment has made the principle of the inclined-plane-electrode electrostatic separator, which we have developed, clearer and more accurate. The conclusion is that the following conditions are most appropriate.

1. Particle falling rate from the hopper is $8 \sim 10$ g/min/ $4 \times 250\text{mm}^2$.
2. The most suitable size of the particle is 100~150 mesh or 150~200 mesh.
3. The inclination of the plane electrode is about 60 degrees.
4. The distance between the lower end of the inclined-plane-electrode and the receiving equipment is about 15 cm.
5. The distance between the net of the hopper and the inclined-plane-electrode is about 6 cm.
6. The applied voltage is negative polarity.
7. The applied voltage to a good conductor like a carbon is about 10KV.
8. The location of the inclined-plane-electrode where the particle fall from the hopper is about 4.5 cm far from its lower end.